สารบ่มอิพอกซีที่ได้จากการรีไซเคิลโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยกระบวนการทางเคมี

นางสาวสุวิภา ทันดร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5031-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EPOXY CURING AGENT FROM CHEMICAL RECYCLING OF RIGID POLYURETHANE

Miss Suwipa Thandorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5031-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สารบ่มอิพอกซีที่ได้จากการรีไซเคิลโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยกระบวนการทางเคมี

โดย นางสาวสุวิภา ทันดร

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัจนา ศิริสุข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวิภา ทันดร : สารบ่มอิพอกซีที่ได้จากการรีไซเคิลโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยกระบวนการทางเคมี. (EPOXY CURING AGENT FROM CHEMICAL RECYCLING OF RIGID POLYURETHANE) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ , 131 หน้า ISBN 974-17-5031-5.

เศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งถูกนำมารีไซเคิลทางเคมีด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสและอะมิโนลิซิส โดยใช้ไดเอทาโนลามีน และไดเอทิลีนไตรเอมีนเป็นสารย่อยสลาย ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเทคนิค FT-IR NMR GPC และ HPLC พบว่าสารน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ได้ส่วนใหญ่เป็นของผสมระหว่างพอลิออลของเอมีนทุติยภูมิ และ4,4'เมทิลีนไดอะนิลีนซึ่งเป็นอะโรมาติกเอมีนปฐมภูมิ ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นการยากและซับซ้อนในการแยกพอลิออลและเอมีนออกจากของผสมเหล่านี้ ดังนั้น จึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้เป็นสารบ่มสำหรับอิพอกซีเรซินโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ผลการทดลองแสดงว่าความทนแรงดึงของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสมีค่ามากกว่าชิ้นงานที่บ่มด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไกลโคลิซิส นอกจากนี้ ยังพบว่าความแข็งของชิ้นงานทุกชิ้นที่เกิดการบ่มอย่างสมบูรณ์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 75-90 shore D ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของอิพอกซีเรซินที่บ่มแล้วด้วยเทคนิค DSC และ TGA แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานทุกชิ้นไม่แสดงค่า T_g ให้ปรากฏ และอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของอิพอกซีเรซิน ที่บ่มด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนมีค่าอยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....สุวิภา.....ทันดร.....
สาขาวิชาพอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2546

4572635023 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE ANE TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD : CHEMICAL RECYCLING/ GLYCOLYSIS/AMINOLYSIS/MDA/DEA/DETA

SUWIPA THANDORN : THESIS TITLE. (EPOXY CURING AGENT FROM CHEMICAL RECYCLING OF RIGID POLYURETHANE): THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SAOWAROJ CHUAYJULJIT, 131 pp. ISBN 974-17-5031-5.

Waste rigid polyurethane foam was chemical recycled by glycolysis and aminolysis using DEA and DETA as decomposers, respectively. The obtained products were characterized by FT-IR, NMR, GPC and HPLC techniques. It was found that the decomposed products were mainly mixtures of low molecular weight aliphatic secondary amine polyols and aromatic primary amine, MDA. Since it was very difficult and complicated to separate and purify polyols and amines from the decomposed products, such mixtures were used directly as epoxy curing agent without further purification. Tensile strength of epoxy resin cured with aminolyzed products was higher than that cured with glycolyzed products. Furthermore, hardness of all completely cured samples was slightly different and was in the range of 75-90 shore D. Thermal properties of cured epoxy samples were characterized by DSC and TGA techniques. The results showed that there was no T_g for all specimens and the degradation temperatures were in the range of 300-400°C.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Materials Science Student's signature...สุวิภา ทันดร
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....
Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือและวัตถุดิบสำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. รศ.ไพพรรณ สันติสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและแนวคิดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. ผศ. ดร. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

4. ผศ. รัจนา ศิริสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์พร้อมทั้งให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการติดต่อด้านวัตถุดิบ

5. คุณ ชัยวัฒน์ นรกานต์กร ที่ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการรวมทั้งความช่วยเหลือในการจัดหาวัตถุดิบและอุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

6. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. บริษัท สยามเคมิคอล อินดัสตรี จำกัด

8. บริษัท เมทเลอร์-ทอเลโด ประเทศไทยจำกัด จำกัด

9. บริษัท เรืองวาสแตนดาร์ด อินดัสตรี จำกัด

10. บริษัท ฟาบริเนท จำกัด

11. บริษัท วิสตา จำกัด

12. บริษัท ยูเนียนคาร์ไบด์ จำกัด

13. ศูนย์วิจัยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

14. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

15. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ให้ความสนับสนุนและกำลังใจ และครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ ช่วยประสิทธ์ประสาทวิชาการจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามมุ่งหวังอย่างสมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....ง

บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฎ

บทที่

1. บทนำ.....1

2. วารสารปริทรรศน์

2.1 พอลิยูรีเทน (Polyurethane).....4

2.1.1 ไอโซไซยาเนต (Isocyanates).....6

2.1.2 พอลิออล (Polyols).....10

2.1.3 ชนิดและการใช้งาน.....10

2.2 การรีไซเคิลโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยกระบวนการทางเคมี.....11

2.2.1 ปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....12

2.2.2 ปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....13

2.3 อิพอกซีเรซิน (Epoxy resins).....15

2.3.1 การเตรียมอิพอกซีเรซิน.....15

2.3.2 การบ่มอิพอกซีเรซิน.....17

2.3.3 สมบัติและการใช้งานของอิพอกซีเรซิน.....21

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....22

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....24

3.2 วิธีทดลอง.....24

3.3 การเตรียมสารบ่มจากเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....24

3.4 การเตรียมสารบ่มจากเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....28

3.5 การเตรียมชิ้นงานอิพอกซีเรซิน.....30

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการเตรียมสารบ่มจากเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....32

4.1.1 ผลการตรวจสอบโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง DEA MDA และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง ด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสโดยเทคนิคFT-IR.....32

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส (FD11) โดยเทคนิค ^{1}H- NMR สเปกโตรสโกปี.....34

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส (FD11) โดยเทคนิค ^{13}C-NMR สเปกโตรสโกปี.....36

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสโดยเทคนิค GPC.....37

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสโดยเทคนิค HPLC.....39

4.2 ผลการเตรียมสารบ่มจากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วย ปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....40

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.1 การตรวจสอบโฟมพอลิยูรีเทน DETA MDA และผลิตภัณฑ์จากการ
ย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยา
อะมิโนลิซิสโฟมพอลิยูรีเทนโดยเทคนิค FT-IR.....40
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (FT21) โดยเทคนิค ^{1}H-NMR
สเปกโตรสโกปี..... 42
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (FT21) โดยเทคนิค ^{13}C-NMR
สเปกโตรสโกปี.....43
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสโดยเทคนิค GPC.....45
4.2.5 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิสโดยเทคนิค HPLC.....46
4.3 การทดสอบอิพอกซีเรซินที่ผ่านการบ่มด้วยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการ
ย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน.....47
4.3.1 ผลการทดสอบการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซิน
ด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
ด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิสและอะมิโนลิซิส และ
ที่ใช้สารบ่มทางการค้าโดยเทคนิค DSC 50
4.3.2 ผลการทดสอบความทนแรงดึง.....53
4.3.3 ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง.....56
4.3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC 58
4.3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA 59

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....62
5.1 สรุปผลการทดลอง (conclusion).....62
5.2 ข้อเสนอแนะ(suggestion).....63

6. รายการอ้างอิง.....64

7. ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.....69
ภาคผนวก ข.....75
ภาคผนวก ค.....85
ภาคผนวก ง.....97
ภาคผนวก จ.....117
ภาคผนวก ฉ.....122
ภาคผนวก ช.....126
ภาคผนวก ซ.....128

8. ประวัติผู้วิจัย.....131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโฟมพอลิยูรีเทนและ DEA 26

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโฟมพอลิยูรีเทนและ DETA 29

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารบ่มต่ออิพอกซีเรซิน.....30

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนของสารบ่ม/อิพอกซีเรซิน.....47

ตารางที่ 4.2 สูตรชิ้นงานที่ใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....48

ตารางที่ 4.3 สูตรชิ้นงานที่ใช้สารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....49

ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จาก
การย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....50

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จาก
การย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....51

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการคายความร้อนของการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มทางการค้า.....52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิยูรีเทน.....4

รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาการเกิดอัลโลฟาเนต และไบยูเรต.....5

รูปที่ 2.3 โครงสร้างเซลล์ของโฟมพอลิยูรีเทน.....5

รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของ 2,4′-TDI และ 2,6′-TDI.....6

รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ PMDI และ MDI.....6

รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของ 4,4′MDI และ 2,4′MDI.....7

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ MDI บริสุทธิ์ที่ผ่านการดัดแปรแล้ว (modified pure MDI).....7

รูปที่ 2.8 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับน้ำ.....8

รูปที่ 2.9 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับเอมีน.....8

รูปที่ 2.10 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยาเนตกับกรดคาร์บอกซิลิก.....9

รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาการเกิดโฮโมพอลิเมอไรเซชันของไอโซไซยาเนต.....9

รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วยไกลคอล.....12

รูปที่ 2.13 ปฏิกิริยาการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วย MEA.....13

รูปที่ 2.14 ปฏิกิริยาการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วย DEA.....13

รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนด้วย DETA.....14

รูปที่ 2.16 ชนิดของสารตั้งต้นที่มีหมู่อิพอกซี.....15

รูปที่ 2.17 โครงสร้างทางเคมีของ DGEBA.....15

รูปที่ 2.18 การเตรียมมอนอเมอริก DGEBA.....16

รูปที่ 2.19 ปฏิกิริยาการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยเอมีนปฐมภูมิและทุติยภูมิ.....18

รูปที่ 2.20 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซีและแอลกอฮอล์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรด.....19

รูปที่ 2.21 ปฏิกิริยระหว่างหมู่อิพอกซีและแอลกอฮอล์ภายใต้ภาวะที่เป็นด่าง.....20

รูปที่ 2.22 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซีและยูเรีย 20

รูปที่ 2.23 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซีและยูรีเทน 20

รูปที่ 2.24 กลไกของปฏิกิริยาการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารไอโซไซยาเนต.....21

รูปที่ 3.1 เศษโฟมพอลิยูรีเทนในการทดลอง.....25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปประกอบ หน้า
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์การย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน.....25
รูปที่ 3.3 เครื่อง HPLC.....26
รูปที่ 3.4 เครื่อง GPC.....27
รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-IR 27
รูปที่ 3.6 เครื่อง NMR 28
รูปที่ 3.7 เครื่อง DSC 28
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความแข็ง 30
รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง 31
รูปที่ 3.10 เครื่องTGA.....31
รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง DEA และ MDA
ชนิด practical grade 32
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
ด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส 33
รูปที่ 4.3 ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ FD 11 34
รูปที่ 4.4 ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ MDA จากงานวิจัยที่ผ่านมา 35
รูปที่ 4.5 ^{1}H-NMR (ล่าง) และ ^{13}C-NMR (บน) สเปกตรัมมาตรฐานของ DEA 35
รูปที่ 4.6 โครงสร้างส่วนของพอลิยูรีเทนโฟม.....35
รูปที่ 4.7 โครงสร้างของ MDAมาตรฐาน.....36
รูปที่ 4.8 ^{13}C-NMR สเปกตรัมของ FD 11 36
รูปที่ 4.9 ^{13}C-NMR สเปกตรัมของ MDA 37
รูปที่ 4.10 GPC โครมาโตแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทน
ชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.11 ปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....39

รูปที่ 4.12 FT-IR สเปกตรัมของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง DETA และ MDA ชนิด practical grade 40

รูปที่ 4.13 FT-IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายเศษโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส 41

รูปที่ 4.14 ^{1}H-NMR สเปกตรัมของ FT 21.....42

รูปที่ 4.15 ^{1}H-NMR (ล่าง) และ ^{13}C-NMR (บน) สเปกตรัมมาตรฐานของ DETA 43

รูปที่ 4.16 ^{13}C-NMR สเปกตรัมของ FT 21 43

รูปที่ 4.17 GPC โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส 45

รูปที่ 4.18 ปริมาณ MDA ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....46

รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส (ก), ไกลโคลิซิส (ข) และสารบ่มทางการค้า (ค).....53

รูปที่ 4.20 ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....53

รูปที่ 4.21 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่อิพอกซีและน้ำ 54

รูปที่ 4.22 ความทนแรงดึงของชิ้นงานที่ได้จากการบ่มอิพอกซีเรซินด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....55

รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบความทนแรงดึงของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ.....56

รูปที่ 4.24 ความแข็งของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....57

รูปที่ 4.25 ความแข็งของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลายโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งด้วยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบความแข็งของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ.....58

รูปที่ 4.27 อุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลาย
โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาไกลโคลิซิส.....59

รูปที่ 4.28 อุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่มด้วยสารบ่มที่ได้จากการย่อยสลาย
โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งโดยปฏิกิริยาอะมิโนลิซิส.....60

รูปที่4.29 การเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของอิพอกซีเรซินที่บ่ม
ด้วยสารบ่มประเภทต่างๆ.....61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย